



# Clustering pour l'optimisation de la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil

Tony Ducrocq, Nathalie Mitton, Michaël Hauspie

## ► To cite this version:

Tony Ducrocq, Nathalie Mitton, Michaël Hauspie. Clustering pour l'optimisation de la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil. 14èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel), 2012, La Grande Motte, France. hal-00689622

**HAL Id: hal-00689622**

**<https://inria.hal.science/hal-00689622>**

Submitted on 19 Apr 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Clustering pour l'optimisation de la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil.<sup>†</sup>

Tony Ducrocq<sup>1</sup> and Nathalie Mitton<sup>1</sup> and Michaël Hauspie<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRIA Lille - Nord Europe

<sup>2</sup>Université Lille 1

---

Le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil est un moyen efficace de structurer le réseau. Son but est d'identifier un sous-ensemble de nœuds dans le réseau et de lui attribuer un chef (un *cluster-head*). Celui-ci sera en charge de tâches spécifiques comme l'agrégation de données. L'exécution de ces tâches additionnelles entraîne une augmentation de la consommation énergétique et une diminution de la durée de vie du nœud. Dans ce papier, nous introduisons BLAC, une nouvelle famille d'algorithmes pour clustering. BLAC considère la combinaison du niveau d'énergie restante à d'autres métriques pour l'élection du *cluster-head*. Les résultats de simulations montrent que BLAC permet de multiplier par 7 la durée de vie du réseau sans nœud éteint sur le réseau considéré.

**Keywords:** Clustering, niveau de batterie, optimisation durée de vie, réseau de capteurs sans fil

---

## 1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont des ensembles de nœuds sans fil qui n'utilisent pas d'infrastructure fixe. De tels réseaux à large échelle offrent des perspectives d'applications très intéressantes. Les nœuds capteurs sont de petits appareils contraints (mémoire, puissance de calcul) aux ressources énergétiques limitées. Ces réseaux nécessitent donc des algorithmes économes en énergie de façon à satisfaire leurs capacités matérielles et les besoins de l'application.

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du projet ANR BinThatThinks. Le but du projet est de faciliter la collecte et le recyclage des déchets et d'en réduire les coûts. Pour réduire la distance parcourue par les camions de ramassage et limiter les manipulations par les opérateurs, le projet BinThatThinks ajoute de l'intelligence aux conteneurs de collecte. Les conteneurs de collecte sont équipés de capteurs sans fil capables de communiquer les uns avec les autres ainsi qu'avec une station de base. Elles peuvent transmettre des informations sur leur position, leur niveau de remplissage ou encore l'exactitude du tri. Ces données sont traitées par le camion de ramassage de manière à optimiser le trajet du camion et à éviter les manipulations inutiles ou dangereuses par les opérateurs. Un des scénarios du projet est d'équiper les conteneurs de modules sans fil à basse consommation pour la communication pair à pair et de GPRS pour la communication avec la station de base. Le GPRS étant très gourmand en énergie, il n'est pas judicieux de l'utiliser sur l'ensemble des nœuds du réseau à chaque instant. Pour réduire la consommation énergétique de chaque nœud, nous proposons d'organiser le réseau en clusters. Chaque nœud envoie les données qu'il doit transmettre à la station de base à son *cluster-head* grâce à la liaison radio basse consommation. Lorsque le *cluster-head* a collecté les données, il les agrège et les envoie à la station de base via GPRS. Ainsi seul le *cluster-head* active sa puce GPRS énergivore. Afin d'équilibrer le surplus de consommation des *cluster-heads* nous proposons de faire jouer ce rôle à tour de rôle par les différents nœuds.

Dans ce papier nous introduisons deux variantes d'un algorithme appelé BLAC (**B**attery-**L**evel **A**ware **C**lustering), la première BLAC-b<sub>g</sub> utilise la métrique degré et la seconde BLAC-b<sub>s</sub> utilise la métrique densité. Nous verrons que BLAC permet de récupérer efficacement les données tout en prolongeant la durée de vie du réseau de façon significative. L'article est organisé comme suit : la section 2 décrit notre méthode pour résoudre le problème posé. Dans la section 3 la méthode de simulation est décrite et les résultats associés y sont montrés et analysés. Enfin nous concluons dans la section 4.

---

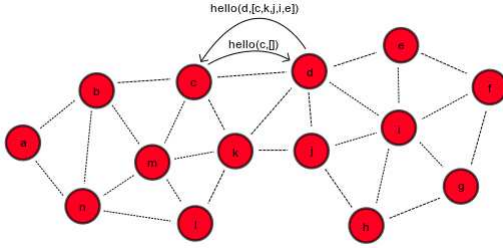
<sup>†</sup>Ce travail est partiellement supporté par le CPER Nord-Pas-de-Calais/FEDER Campus Intelligence Ambiante et l'ANR ECOTECH BinThatThinks : [www.binthatthink.inria.fr](http://www.binthatthink.inria.fr)

## 2 Proposition

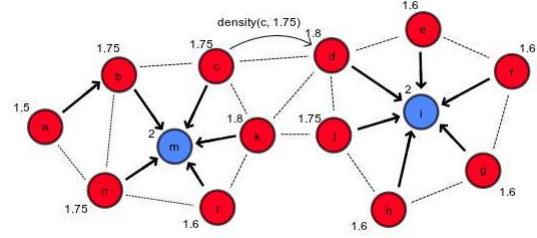
Pour réduire la consommation énergétique nous proposons deux méthodes. Notre but étant de conserver le plus de nœuds actifs le plus longtemps possible, il est nécessaire de faire jouer le rôle de *cluster-head* à tour de rôle par chacun des nœuds pour équilibrer la consommation énergétique. Nous avons choisi pour cela un algorithme similaire à DDR et Density-based proposés respectivement dans [NLB00] et [MBF04] en proposant une métrique nouvelle. Les méthodes de clustering DDR et Density-based reposent respectivement sur le *degré* et la *densité* des nœuds. Le *degré* est défini par  $\delta(u) = |\mathcal{N}(u)|$  avec  $\mathcal{N}(u)$  le voisinage de  $u$  et la *densité* est définie par :

$$\rho(u) = \frac{|\{(v, w) \in E \mid v \in \{u, \mathcal{N}(u)\}, w \in \mathcal{N}(u)\}|}{\delta(u)}$$

Les figures 1 et 2 illustrent le calcul de *densité* et la création des clusters. Sur la figure 1, le nœud  $c$  envoie un message hello au nœud  $d$ , les autres nœuds font de même,  $d$  connaît donc tous ses voisins. Le nœud  $d$  envoie un nouveau message hello contenant la liste de ses voisins,  $c$  la reçoit et connaît donc son 2-voisinage. Sur la figure 2 le nœud  $c$  calcule sa densité et l'envoie à ses voisins,  $d$  la reçoit, de même que celle de ses autres voisins. Le nœud  $d$  décide alors de choisir  $i$  comme parent car sa densité est plus élevée.  $i$  quant à lui devient *cluster-head* car il a la densité la plus élevée de son voisinage.



**FIGURE 1:** Chaque nœud envoie un message *hello* contenant son Id à son voisinage. Un deuxième message *hello* est envoyé avec la liste des voisins pour que chaque nœud connaisse son 2-voisinage.



**FIGURE 2:** Les nœuds calculent alors leur densité (valeur sur le schéma) et la transmettent à leurs voisins. Ils s'attachent au nœud de plus forte densité dans leur voisinage ou deviennent *cluster-heads* s'ils détiennent la plus forte valeur.

La métrique que nous définissons est composée d'une part de l'*énergie résiduelle*  $B(u)$  définie telle que :

$$B(u) = \left\lfloor \frac{\text{batt}(u) \cdot 10}{\text{battcap}} \right\rfloor$$

où *battcap* est la capacité initiale de la batterie des nœuds (la même pour tous les nœuds) et *batt*( $u$ ) est le niveau de batterie actuel du nœud  $u$  et d'autre part du *degré* ou de la *densité* d'un nœud selon la variante de l'algorithme utilisé. La transformation effectuée sur le niveau de batterie permet d'obtenir une discrétisation de celui-ci afin d'éviter les fluctuations beaucoup trop importantes de la métrique et donc des changements trop fréquents dans la topologie du réseau. On définit  $P(u)$  le parent de  $u$  et  $h(u)$  la métrique utilisée, soit  $\rho(u)$  ou  $\delta(u)$  selon la variante de BLAC. L'algorithme 1 décrit le comportement de chaque nœud du réseau.

## 3 Résultats

Pour évaluer les performances des deux versions de BLAC nous effectuons des simulations sur le simulateur WSNET<sup>‡</sup>. Nous comparons BLAC-bg et BLAC-bs avec les algorithmes les plus proches de la littérature : DDR [NLB00] et Density-based [MBF04]. Les 200 nœuds sont répartis suivant une distribution aléatoire uniforme sur un espace de  $100m \times 100m$ . Une couche MAC idéale et une communication radio

<sup>‡</sup>. wsnnet.gforge.inria.fr

---

**Algorithm 1:** Algorithme BLAC- $\star$  exécuté sur chaque nœud  $u$ .

---

```

 $C_h \leftarrow 0$ ;
 $C_i \leftarrow +\infty$ ;
for  $i \in \mathcal{N}(u)$  do
    if  $(C_h < h(i) \times B(i)) \vee [(C_h = h(i) \times B(i)) \wedge (Id(i) < C_i)]$  then
         $P(u) \leftarrow i$ ;
         $C_h \leftarrow h(i) \times B(i)$ ;
         $C_i \leftarrow Id(i)$ 
if  $(h(u) \times B(u) > C_h) \vee [(h(u) \times B(u) = C_h) \wedge (Id(u) > C_i)]$  then
    /*  $u$  devient cluster-head */
     $P(u) \leftarrow u$ ;

```

---

sans interférence sont utilisées. Afin d'utiliser des valeurs de consommation énergétique réalistes pour la simulation, les caractéristiques techniques des puces radio *Texas Instrument CC2420*<sup>§</sup> et *22 × 22 GSM Module de Advance Wireless Planet*<sup>¶</sup> ont été utilisées respectivement pour les communications pair à pair et les communications longue distance. Dans les simulations, chaque nœud commence l'expérience avec le même niveau de batterie (3.3Wh). À chaque émission ou réception la quantité d'énergie correspondante est déduite du niveau actuel d'énergie du nœud.

La figure. 3 montre l'avantage de BLAC concernant la durée de vie du réseau. Sur les courbes représentant la durée de vie des algorithmes DDR et Density-based on observe des paliers. Chacun de ces paliers correspond à la durée pendant laquelle certains nœuds sont *cluster-heads*. Ces nœuds meurent et laissent leur place à de nouveaux *cluster-heads*. Les algorithmes BLAC- $\star$  maintiennent le réseau 100% fonctionnel jusqu'à sept fois plus longtemps. On observe aussi une légère avance de BLAC-bs par rapport à BLAC-bg, ce qui s'explique par la taille moyenne des clusters légèrement supérieure qui implique moins de *cluster-heads* dans le réseau.

Le nombre de clusters en fonction du temps est illustré par la figure 4 et montre que nos algorithmes de clustering créent un nombre de clusters proche des autres algorithmes. On observe que les algorithmes basés sur la densité (Density-based et BLAC-bs) créent un nombre de clusters légèrement inférieur à ceux basés sur le degré (DDR et BLAC-bg). Nous expliquons ce phénomène par la résolution supérieure de la densité par rapport au degré, ce qui a tendance à créer des clusters plus profonds, donc plus grands.

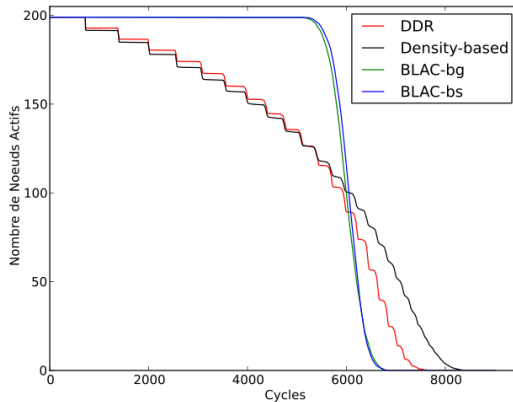


FIGURE 3: Durée de vie du réseau

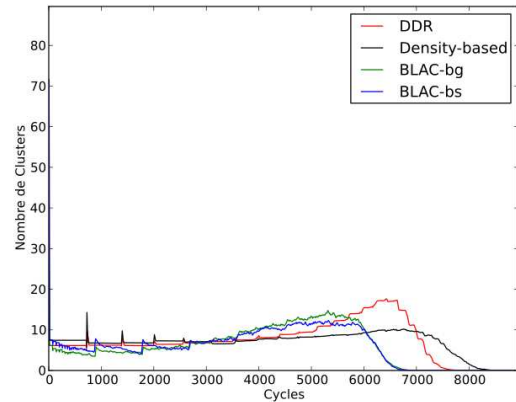


FIGURE 4: Nombre de clusters

Dans la figure 5, nous comparons la stabilité des différents algorithmes simulés en représentant le nombre de changements de parent par nœud. L'activité des algorithmes DDR et Density-based est périodique,

---

<sup>§</sup>. [focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf](http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf)

<sup>¶</sup>. [www.gsm-modem.de/gsm-module.html](http://www.gsm-modem.de/gsm-module.html)

comme nous l'avons déjà mis en évidence grâce à la figure 3, en effet des changements apparaissent chaque fois qu'un nœud meurt. En effet, chaque fois qu'un nœud du réseau disparaît, tous les nœuds qui y étaient attachés doivent trouver un nouveau parent. Avec BLAC- $\ast$  les changements sont mieux répartis dans le temps et surtout, la conception locale de l'algorithme ainsi que la métrique utilisée absorbent les changements trop brutaux. La figure 6 montre la distance moyenne en nombre de sauts d'un nœud jusqu'à son *cluster-head*. On observe une corrélation avec le nombre de clusters (fig. 4) ce qui confirme l'hypothèse des clusters plus grands.

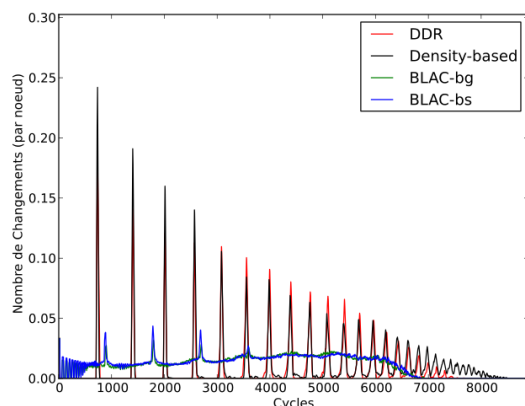


FIGURE 5: Stabilité du réseau

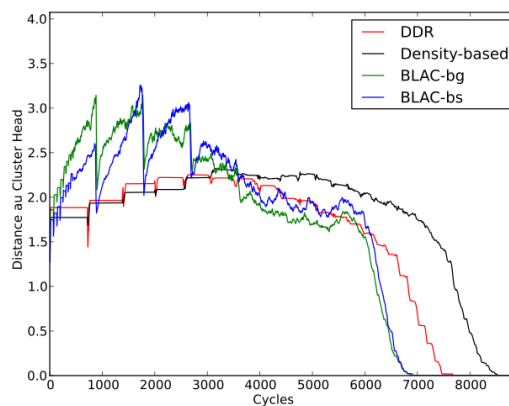


FIGURE 6: Excentricité moyenne

## 4 Conclusion

Dans cet article nous avons introduit de nouvelles métriques pour le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil. Grâce à l'intégration du niveau de batterie dans la métrique utilisée pour le choix des *cluster-heads*, nous équilibrons la consommation électrique entre tous les nœuds et nous maximisons donc la durée pendant laquelle tous les nœuds du réseau sont opérationnels. L'algorithme proposé est distribué et les modifications concernant le clustering sont locales, ce qui permet d'avoir un réseau de grande ampleur.

Nos résultats montrent que nos techniques de clustering améliorent la durée de vie du réseau comme nous l'espérions. En effet, le délai avant l'extinction du premier nœud peut-être jusqu'à sept fois plus long avec les algorithmes BLAC. Dans les applications dans lesquelles aucune perte de nœud n'est admise nous apportons une solution intéressante pour l'organisation du réseau.

Nos travaux futurs seront axés sur la réalisation de simulations avec des couches MAC et radio réalistes ainsi que la conduite d'expérimentations sur des plateformes telles que SensLAB<sup>||</sup>. Des simulations seront effectuées avec des topologies variées et réalistes. Un autre axe de recherche sera l'intégration des techniques d'adaptation de portée et de réduction de graphes efficaces en énergie [RMSR11]. Nous rechercherons alors des méthodes de routage adaptées et efficaces dans cette topologie de réseau.

## Références

- [MBF04] N. Mitton, A. Busson, and E. Fleury. Self-organization in large scale ad hoc networks. In *Mediterranean ad hoc Networking Workshop*, Bodrum Turkey, 2004.
- [NLB00] N. Nikaiein, H. Labiod, and C. Bonnet. DDR-distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks. In *First Annual Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing*, pages 19–27, 2000.
- [RMSR11] J. Radak, N. Mitton, and D. Simplot-Ryl. Using battery level as metric for graph planarization. In *10th International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless*, Paderborn, Germany, 2011.

<sup>||</sup>. [www.senslab.info](http://www.senslab.info)